Vol.10, No.3, Fall 2021, pp.1-18 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.71728.1094 Open access

Identify areas prone to landslide and vertical displacement using Radar images (Case study: Lavasan urban area and urban margin)

Saeed Negahban [a*], Tina peysoozi [b], Hamid Gangaeian [c], Milad Norozi [d]

[a] *Associate Professor in Geomorphology, Department of Geography, Shiraz University, Shiraz, Iran*
[b] *Master in Hdrogeomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran*
[c] *PhD Student in Geomorphology, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran*
[d] *PhD Student in Urban Engineering, Islamic Azad University, Broujerd Brench*

Received: 30 July 2021 ***Revise: 28 September 2021*** ***Accepted: 20 October 2021***

Abstract

Geomorphological hazards are considered as one of the environmental hazards that can be associated with many losses. Many areas, including the southern slopes of Alborz, are susceptible to a variety of geomorphological hazards, therefore, this study investigates the hazards of vertical displacement and landslides in the urban area and urban margin of Lavasan, located on the southern slopes of Alborz. This study was carried out in two stages, in the first step, to evaluate the vertical displacement of the region using the Sentinel radar image and SBAS time series method. In the second step, the geomorphological, geological and human parameters as well as the fuzzy logic model and ANP are used to evaluate the potential landslide prone areas. Thirdly, based on the results of the vertical displacement assessment as well as the potential assessment of landslide prone areas, hazardous areas of the study area have been identified. The results of the SBAS time series method show that the range of studies over the 3 year period has been about 12.4 mm uplift as well as 103.2 mm subsidence. Potential results of landslide-prone zones also indicate that limited northern study areas have great potential for landslides. Also the results of the evaluation of the hazardous areas in the study area indicate that the landslide susceptible areas of 30.1 km^2, Areas with displacement more than 45 mm 26.27 km^2 as well as landslide prone areas with displacement more than 45 mm 6.97 km^2.

Keywords: Geomorphological Hazards, Vertical Displacement, Landslide, Lavasan

---

* .Corresponding author: Saeed Negahban E-mail: Snegahban@shirazu.ac.ir Tel: + 989186658739

How to cite this Article: Negahban, S., Peysoozi, T., Ganjaeian, H.,Norozi, M. (2021). Identify areas prone to landslide and vertical displacement using Radar images (Case study: Lavasan urban area and urban margin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 1-18.
doi: 10.22067/geoeh.2021.71728.1094

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 3 - Number 39, Fall 2021
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71728.1094

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ سی و نهم، پاییز ۱٤۰۰ صص۱۸-۱

مقاله پژوهشی

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و جابجایی عمودی با استفاده از تصاویر راداری (مطالعه موردی: محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان)

سعید نگهبان[۱]- دانشیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز.
تینا پی‌سوزی- کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی.
حمید گنجائیان- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.
میلاد نوروزی- دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد.

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۵/۸ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۷/٦ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۷/۲۸

چکیده

مخاطرات ژئومورفولوژی به‌عنوان یکی از مخاطرات محیطی محسوب می‌شود که می‌توانند با خسارات زیادی همراه شود. بسیاری از مناطق ازجمله دامنه‌های جنوبی البرز، مستعد وقوع انواع مخاطرات ژئومورفولوژی هستند؛ بنابراین در این تحقیق به بررسی مخاطرات ناشی از جابجایی عمودی و زمین‌لغزش در محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان، واقع در دامنه‌های جنوبی البرز پرداخته شده است. این تحقیق در ۳ مرحله انجام شده است. در مرحله اول به‌منظور ارزیابی جابجایی عمودی منطقه از ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. در مرحله دوم به‌منظور پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش از ۸ پارامتر ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و انسانی و همچنین مدل تلفیقی منطق فازی و ANP استفاده شده است. در مرحله سوم نیز، بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی جابجایی عمودی و همچنین پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، مناطق مخاطره‌آمیز محدوده مطالعاتی شناسایی شده است. نتایج حاصل از روش سری زمانی SBAS نیز بیانگر این است که محدوده

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۹۱۱۳۳۷۵۰ E-mail: Snegahban@shirazu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله :

نگهبان, سعید, پی سوزی, تینا, گنجائیان, حمید, نوروزی, میلاد. (۱٤۰۰). شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و جابجایی عمودی با استفاده از تصاویر راداری(مطالعه موردی: محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان). جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۰(۳), صص ۱۸-۱
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71728.1094

مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله حدود ۱۲/٤ میلی‌متر بالاآمدگی و همچنین ۱۰۳/۲ میلی‌متر فرونشست داشته است. نتایج پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش نیز بیانگر این است که مناطق شمالی محدود مطالعاتی پتانسیل خیلی زیادی جهت وقوع زمین‌لغزش دارد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی مناطق مخاطره‌آمیز در محدوده مطالعاتی بیانگر این است که مناطق مستعد لغزش ۳۰/۱ کیلومترمربع، مناطق دارای جابجایی بیش از ٤۵ میلی‌متر ۲٦/۲۷ کیلومترمربع و همچنین مناطق مستعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ٤۵ میلی‌متر ٦/۹۷ کیلومترمربع از محدوده را دربرگرفته است.

کلیدواژه‌ها: مخاطرات ژئومورفولوژی، جابجایی عمودی، زمین‌لغزش، لواسان.

۱- مقدمه

مخاطرات محیطی بر اساس فرایند رابطه انسان با محیط تعریف می‌شود؛ در غیر این صورت پدیده‌هایی که خطر می‌نامیم جزء رفتار معمول و رایج طبیعت است. این فرایند از زمان‌های قدیم و شاید از زمان استیلای جبر محیطی بر جغرافیا حاکم بوده و به عقیده خیلی از جغرافیدانان محور اصلی فعالیت‌های جغرافیایی محسوب می‌شود (علیجانی، ۱۳۹۳)؛ بنابراین مخاطرات محیطی همواره از مهم‌ترین موضوعات مطرح در جوامع به شمار می‌آید (پورطاهر و همکاران، ۱۳۹۰). بررسی‌های صورت گرفته در مورد مخاطرات محیطی بیانگر این است که این مخاطرات دارای روند افزایشی هستند و میلیون‌ها نفر از مردم در سراسر دنیا در معرض آن قرار دارند (برونفمان[1] و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش و شدت برخی رویدادهای مخاطره‌آمیز طبیعی تحت تأثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی می‌باشد (رنجبر و بیات، ۱۳۸۹). مخاطرات ژئومورفولوژی به‌عنوان یکی از مخاطرات محیطی محسوب می‌شود که خود دارای انواع مختلفی است (ملکی و همکاران، ۱۳۹٤). نوع مخاطرات ژئومورفولوژی با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت ژئومورفولوژی مناطق متفاوت خواهد. یکی از مناطقی که در معرض مخاطرات ژئومورفولوژی قرار دارد، دامنه‌های جنوبی البرز است. ازجمله مخاطرات موجود در این دامنه‌ها می‌تواند به زمین‌لغزش و جابجایی عمودی زمین اشاره کرد. با توجه به اینکه این دامنه‌ها دارای شیب و ارتفاع زیادی هستند و همچنین در مناطقی زیادی با بریدگی شیب توسط جاده و رودخانه مواجه شده‌اند، پتانسیل زیادی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. همچنین به دلیل اینکه این دامنه‌ها از نظر تکتونیکی در منطقه فعال قرار دارند، با جابجایی عمودی مواجه هستند که این جابجایی در بلندمدت می‌تواند خود سبب بروز خسارات زیادی شود. با توجه به مواد مذکور در این تحقیق به بررسی میزان جابجایی عمودی و همچنین پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان پرداخته شده است که برای ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه از تصاویر راداری سنتنیل ۱ و روش سری زمانی

1 Bronfman

SBAS و همچنین برای پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش از مدل تلفیقی منطق فازی و ANP استفاده شده است.

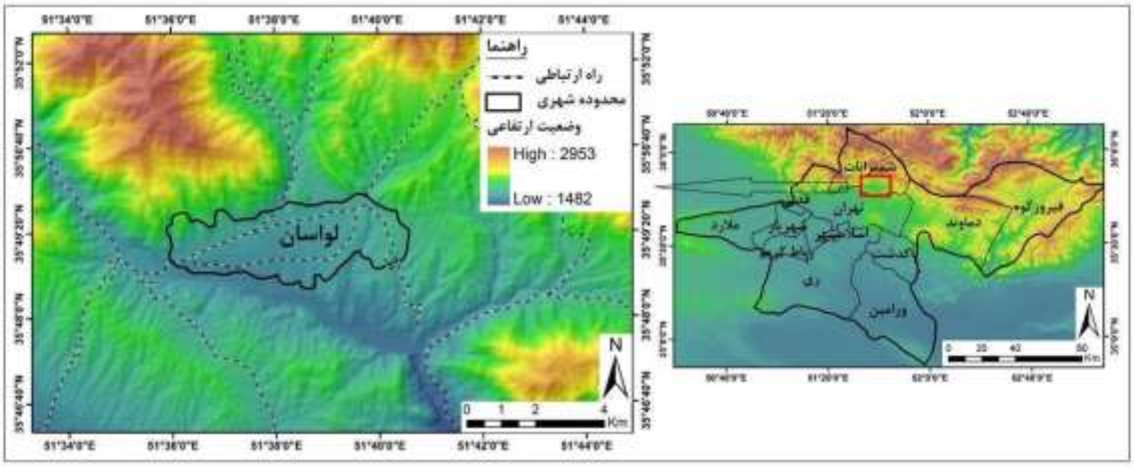
در مورد ارزیابی جابجایی عمودی با استفاده از تصاویر راداری تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به سیگنا[1] و همکاران (۲۰۱٤) اشاره کرد که میزان جابجایی عمودی زمین در منطقه پیانا دگلی[2] (ایتالیا) را با استفاده از تصاویر COSMO SKY برآورد کرده‌اند. ابیر[3] و همکاران (۲۰۱۵) میزان جابجایی زمین در فلات نمک کوهات (در شمال پاکستان) را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. ژائو[4] و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی میزان جابجایی زمین در منطقه ساحلی شانگهای چین پرداختند. صفاری و جعفری (۱۳۹۵) فرونشست زمین در دشت کرج - شهریار را با استفاده از روش تداخل سنجی راداری مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بابایی و همکاران (۱۳۹٦) به ارزیابی میزان فرونشست در شهر تهران پرداختند صالحی متعهد و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری در شهر مشهد پرداختند. همچنین در مورد لغزش نیز تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به یلسین[5] (۲۰۰۸) اشاره کرد که بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آماره دو متغیره، نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه آردسن ترکیه تهیه کرده است. بدناریک[6] و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلواکی پرداختند. وانگ[7] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش وزن‌دهی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ساحل جنوبی چین پرداختند. یمانی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل زمین‌لغزش تاقدیس سیاه کوه پرداختند. بهاروند و همکاران (۱۳۹٦) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در حوضه ده سفید را موردمطالعه قرار داده‌اند. حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق فازی در رشته‌کوه باقران (جنوب بیرجند) پرداختند. با توجه به موارد مذکور، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی با استفاده از روش سری زمانی SBAS و همچنین پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و درنهایت شناسایی مناطق مستعد مخاطره می‌باشد.

1 Cigna
2 Piana degli
3 Abir
4 Zhao
5 Yalcin
6 Bednarik
7 Wang

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل محدوده شهری لواسان و مناطق حاشیه‌ای آن است که از نظر تقسیمات سیاسی در شمال استان تهران و جنوب شهرستان شمیرانات قرار دارد. این منطقه از نظر مورفوتکتونیکی در واحد البرز جنوبی قرار دارد. از نظر ژئومورفولوژی چشم‌انداز عمده منطقه را واحد کوهستان، دشت و دشت سیلابی در برگرفته است. از نظر اقلیمی نیز با توجه به موقعیتی که دارای تابستان‌های گرم و معتدل و زمستان‌های سرد و معتدل است.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی

۲-۲- روش پژوهش

در این تحقیق به‌منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از روش‌های توصیفی-تحلیلی استفاده شده است. داده‌های تحقیق شامل مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر (SRTM)، ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ (جدول ۱)، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و لایه‌های اطلاعاتی دیگر می‌باشد. نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحقیق شامل نرم‌افزار GMT (به‌منظور تهیه نقشه میزان جابجایی عمودی) ARCGIS (به‌منظور تهیه نقشه و خروجی‌های نهایی) و ENVI (تهیه نقشه کاربری اراضی) می‌باشد. در این تحقیق پس از جمع‌آوری داده‌های و اطلاعات، تجزیه‌وتحلیل داده در ۳ مرحله انجام شده که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۱۶/۰۱/۰۶	۱۰	۲۰۱۷/۰۲/۰۵	۱۹	۲۰۱۸/۰۱/۳۱
۲	۲۰۱۶/۰۲/۲۳	۱۱	۲۰۱۷/۰۳/۱۳	۲۰	۲۰۱۸/۰۳/۰۸
۳	۲۰۱۶/۰۴/۱۱	۱۲	۲۰۱۷/۰۴/۱۸	۲۱	۲۰۱۸/۰۵/۱۹
۴	۲۰۱۶/۰۵/۲۹	۱۳	۲۰۱۷/۰۵/۲۴	۲۲	۲۰۱۸/۰۶/۲۴
۵	۲۰۱۶/۰۷/۰۴	۱۴	۲۰۱۷/۰۶/۲۹	۲۳	۲۰۱۸/۰۷/۳۰
۶	۲۰۱۶/۰۸/۰۹	۱۵	۲۰۱۷/۰۸/۰۴	۲۴	۲۰۱۸/۰۹/۰۴
۷	۲۰۱۶/۰۹/۲۶	۱۶	۲۰۱۷/۰۹/۰۹	۲۵	۲۰۱۸/۱۰/۱۰
۸	۲۰۱۶/۱۱/۱۳	۱۷	۲۰۱۷/۱۱/۲۰	۲۶	۲۰۱۸/۱۱/۱۵
۹	۲۰۱۶/۱۲/۳۱	۱۸	۲۰۱۷/۱۲/۲۶	۲۷	۲۰۱۸/۱۲/۲۱

۲-۲-۱-ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی میزان فرونشست منطقه از روش تداخل سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. تداخل سنجی راداری ابزار نیرومند برای مطالعه پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی همچون زلزله، نشست، زمین‌لغزش و ... می‌باشد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۶). در روش تداخل سنجی راداری، بعد از تولید تداخل‌نگارها و تصحیح آن‌ها نسبت به خطاهای موجود در تداخل‌سنجی، یک مجموعه از تداخل‌نگارها از یک منطقه حاصل می‌شود که در بازه‌های زمانی مختلف می‌باشند. عدم همبستگی زمانی و مکانی بین تصاویر سبب می‌شود تا تقریباً هر تداخل‌نگار شامل مناطق بزرگی باشد که در آن‌ها همبستگی پایین است و اندازه‌گیری انجام شده در این مناطق قابل‌اطمینان نیست و یا اصلاً قابل انجام نیست. این محدودیت‌ها سبب می‌شود تا روش تداخل‌سنجی، به‌تنهایی ابزاری کامل جهت نظارت و اندازه‌گیری اعوجاجات سطح زمین و تغییرات توپوگرافی نباشد. تحلیل سری زمانی تداخل‌سنجی تا حدود زیادی باعث غلبه بر این محدودیت‌ها در تداخل‌سنجی می‌شود (هانسن[1]، ۲۰۰۱). با توجه به موارد مذکور، در این تحقیق با استفاده از ۲۷ تصویر راداری سنتنیل ۱ و همچنین روش سری زمانی SBAS میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۰۱/۰۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱ ارزیابی شده است.

۲-۲-۲-پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش

در این تحقیق به‌منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش از ۸ پارامتر و مدل تلفیقی منطق فازی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است که در ادامه به تشریح روش این کار پرداخته شده است:

---

1 Hanssen

- تهیه لایه‌های مورد نظر: به‌منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، از ۸ پارامتر لیتولوژی، فاصله از خط گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب و ارتفاع استفاده شده است. انتخاب پارامترهای بر اساس مطالعات پیشین، وضعت منطقه و نظرات کارشناسان بوده است.
- فازی‌سازی لایه‌ها: پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، به‌منظور انجام پهنه‌بندی نهایی، لایه‌های تهیه شده فازی-سازی شده است. فازی‌سازی هر لایه بر مبنایی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش صورت گرفته است. بر این اساس، به مناطق نزدیک به جاده، رودخانه و گسل، مناطق دارای ارتفاع و شیب زیاد، جهات شیب شمالی، لیتولوژی سست و کاربری دارای پوشش گیاهی کم تراکم، ارزش نزدیک به ۱ داده شده است. همچنین به مناطق دور از جاده، رودخانه و گسل، مناطق دارای ارتفاع و شیب کم، جهات شیب جنوبی، لیتولوژی مقاوم و کاربری دارای پوشش گیاهی متراکم، ارزش نزدیک به صفر داده شده است.
- وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی: پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و فازی‌سازی آن‌ها، با استفاده از نظرات کارشناسان مربوطه و مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است.
- تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی: پس از اعمال وزن‌های به دست آمده بر روی لایه‌های اطلاعاتی، لایه-های اطلاعاتی با هم ترکیب شده و به این صورت نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره زمین-لغزش تهیه شده است.

۲-۲-۳- تحلیل نهایی نتایج روش کار

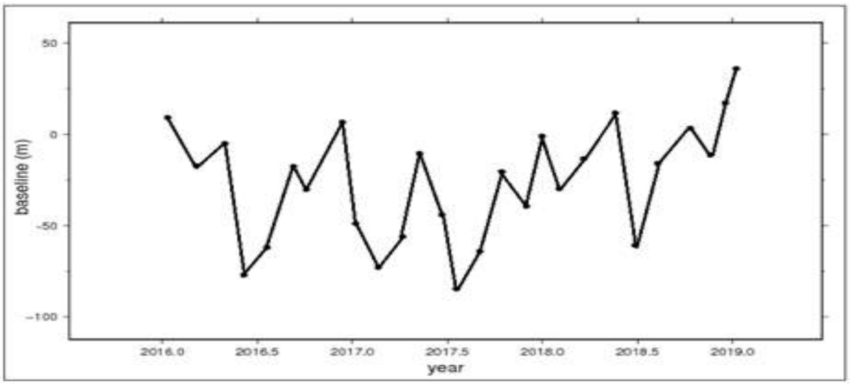
پس از ارزیابی میزان جابجایی عمودی منطقه و همچنین شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، مناطق مخاطره‌آمیز در محدوده مطالعاتی شناسایی شده است. برای این منظور، ابتدا مناطقی که در طی دوره زمانی ۳ ساله دارای میزان جابجایی عمودی بیش از ٤٥ میلی‌متر بوده است و همچنین مناطقی که در کلاس خیلی زیاد از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش قرار دارد، شناسایی شده است؛ سپس مخاطرات منطقه در ۳ کلاس مناطق با جابجایی عمودی بیش از ٤٥ میلی‌متر، مناطق مستعد لغزش و همچنین مناطق مستعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ٤٥ میلی‌متر مشخص شده است.

۳- بحث و نتایج

در این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر، به شناسایی مناطق مستعد مخاطره در محدوده مطالعاتی پرداخته شده است که برای این منظور، ابتدا به بررسی میزان جابجایی عمودی منطقه پرداخته شده است و سپس نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش ارزیابی شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

۳-۱-ارزیابی میزان جابجایی عمودی در محدوده مطالعاتی

با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی در دامنه‌های جنوبی البرز قرار دارد و همچنین به دلیل قرارگیری ایـن منطقـه در مجاور گسل‌های فعال ازجمله گسل شمال تهران و گسل مشاء، این محدوده از نظر تکتونیکی فعال است و بـه همـین دلیل پتانسیل جابجایی عمودی زیادی دارد. با توجه به اینکه جابجایی عمودی حتی به‌صورت نامحسوس مـی‌توانـد در تشدید مخاطرات نقش مستقیمی داشته باشد، ارزیابی و برآورد این جابجایی در منـاطق مختلـف بسـیار حـائز اهمیـت خواهد بود. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به‌منظور ارزیابی میزان جابجایی عمـودی در محـدوده مطالعـاتی از ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ (از تاریخ ۲۰۱٦/۰۱/۰٦ تـا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱) و روش سـری زمـانی SBAS اسـتفاده شـده است. به‌منظور انجام کار، ابتدا تصاویر مورد نظر تهیه شده و سپس پیش‌پردازش‌های لـازم بـر روی آن‌هـا انجـام شـده است، پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس‌لاین زمـانی تصـاویر (شـکل ۲ و جـدول ۲)، جفـت تصـاویر مورد نظر برای ساخت اینترفروگرام انتخاب شده است.



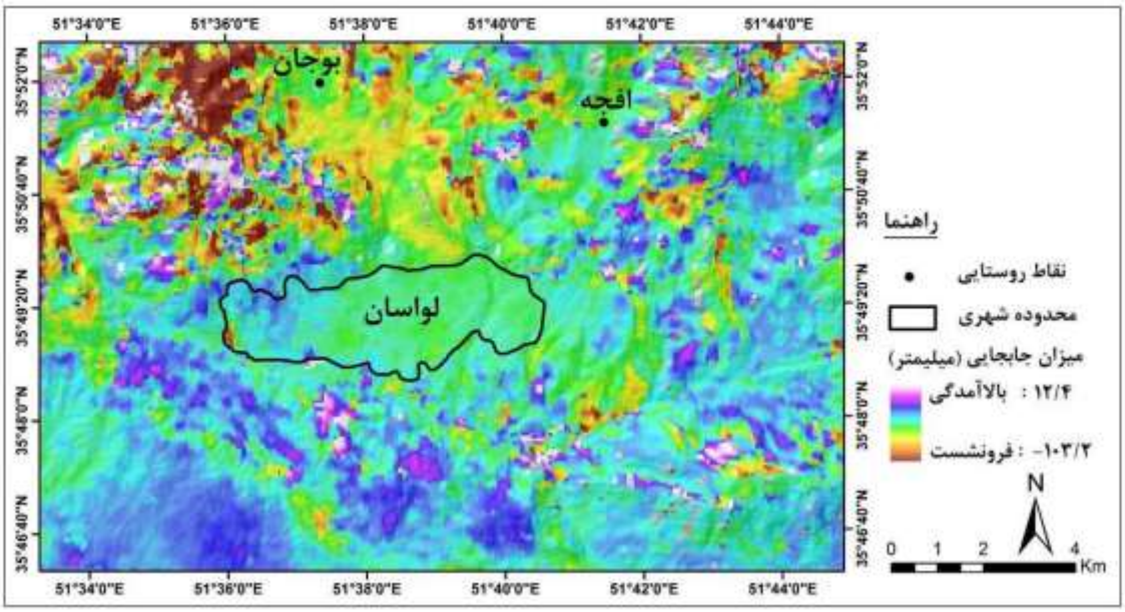
شکل ۲- بیس‌لاین زمانی و مکانی تصاویر

جدول ۲- زوج تصاویر انتخابی برای ساخت اینترفروگرام

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	۲۰۱٦/۰۱/۰٦-۲۰۱٦/۰۲/۲۳	۱٤	۲۰۱۷/۰٦/۲۹-۲۰۱۷/۰۸/۰٤
۲	۲۰۱٦/۰۲/۲۳-۲۰۱٦/۰٤/۱۱	۱۵	۲۰۱۷/۰۸/۰٤-۲۰۱۷/۰۹/۰۹
۳	۲۰۱٦/۰٤/۱۱-۲۰۱٦/۰۵/۲۹	۱٦	۲۰۱۷/۰۹/۰۹-۲۰۱۷/۱۱/۲۰
٤	۲۰۱٦/۰۵/۲۹-۲۰۱٦/۰۷/۰٤	۱۷	۲۰۱۷/۱۱/۲۰-۲۰۱۷/۱۲/۲٦
۵	۲۰۱٦/۰۷/۰٤-۲۰۱٦/۰۸/۰۹	۱۸	۲۰۱۷/۱۲/۲٦-۲۰۱۸/۰۱/۳۱
٦	۲۰۱٦/۰۸/۰۹-۲۰۱٦/۰۹/۲٦	۱۹	۲۰۱۸/۰۱/۳۱-۲۰۱۸/۰۳/۰۸
۷	۲۰۱٦/۰۹/۲٦-۲۰۱٦/۱۱/۱۳	۲۰	۲۰۱۸/۰۳/۰۸-۲۰۱۸/۰۵/۱۹
۸	۲۰۱٦/۱۱/۱۳-۲۰۱٦/۱۲/۳۱	۲۱	۲۰۱۸/۰۵/۱۹-۲۰۱۸/۰٦/۲٤
۹	۲۰۱٦/۱۲/۳۱-۲۰۱۷/۰۲/۰۵	۲۲	۲۰۱۸/۰٦/۲٤-۲۰۱۸/۰۷/۳۰

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱۰	۲۰۱۷/۰۲/۰۵–۲۰۱۷/۰۳/۱۳	۲۳	۲۰۱۸/۰۷/۳۰–۲۰۱۸/۰۹/۰٤
۱۱	۲۰۱۷/۰۳/۱۳–۲۰۱۷/۰٤/۱۸	۲٤	۲۰۱۸/۰۹/۰٤–۲۰۱۸/۱۰/۱۰
۱۲	۲۰۱۷/۰٤/۱۸–۲۰۱۷/۰۵/۲٤	۲۵	۲۰۱۸/۱۰/۱۰–۲۰۱۸/۱۱/۱۵
۱۳	۲۰۱۷/۰۵/۲٤–۲۰۱۷/۰٦/۲۹	۲٦	۲۰۱۸/۱۱/۱۵–۲۰۱۸/۱۲/۲۱

پس از انتخاب زوج تصاویر، با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، اینترفروگرام‌های مورد نظر تهیه شده و درنهایت با استفاده روش سری زمانی SBAS، میزان جابجایی منطقه به دست آمده است (شکل ۳). نتایج حاصل از روش سری زمانی SBAS بیانگر این است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی ۳ ساله حدود ۱۲/٤ میلی‌متر بالاآمدگی و همچنین ۱۰۳/۲ میلی‌متر فرونشست داشته است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به نواحی شمال غربی محدوده مطالعاتی شامل مناطق غربی روستای بوجان بوده است و همچنین کم‌ترین آن نیز مربوط به نواحی جنوبی محدوده مطالعاتی بوده است و در یک روند کلی میزان جابجایی عمودی از مناطق شمال غربی محدوده به سمت مناطق جنوب غربی کاهش می‌یابد. بررسی وضعیت جابجایی عمودی در ارتباط به وضعیت زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه بیانگر این است که عامل اصلی جابجایی صورت گرفته، عوامل تکتونیکی است. در واقع، با توجه به اینکه این محدوده از نظر تکتونیکی فعال است و همچنین به دلیل اینکه محدوده مطالعاتی در یک منطقه کوهستانی قرار دارد و با عواملی مانند افت آب زیرزمینی مواجه نشده است، بنابراین جابجایی صورت گرفته را می‌توان به عوامل تکتونیکی نسبت داد.



شکل ۳- نقشه میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی

۳-۲- ارزیابی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی

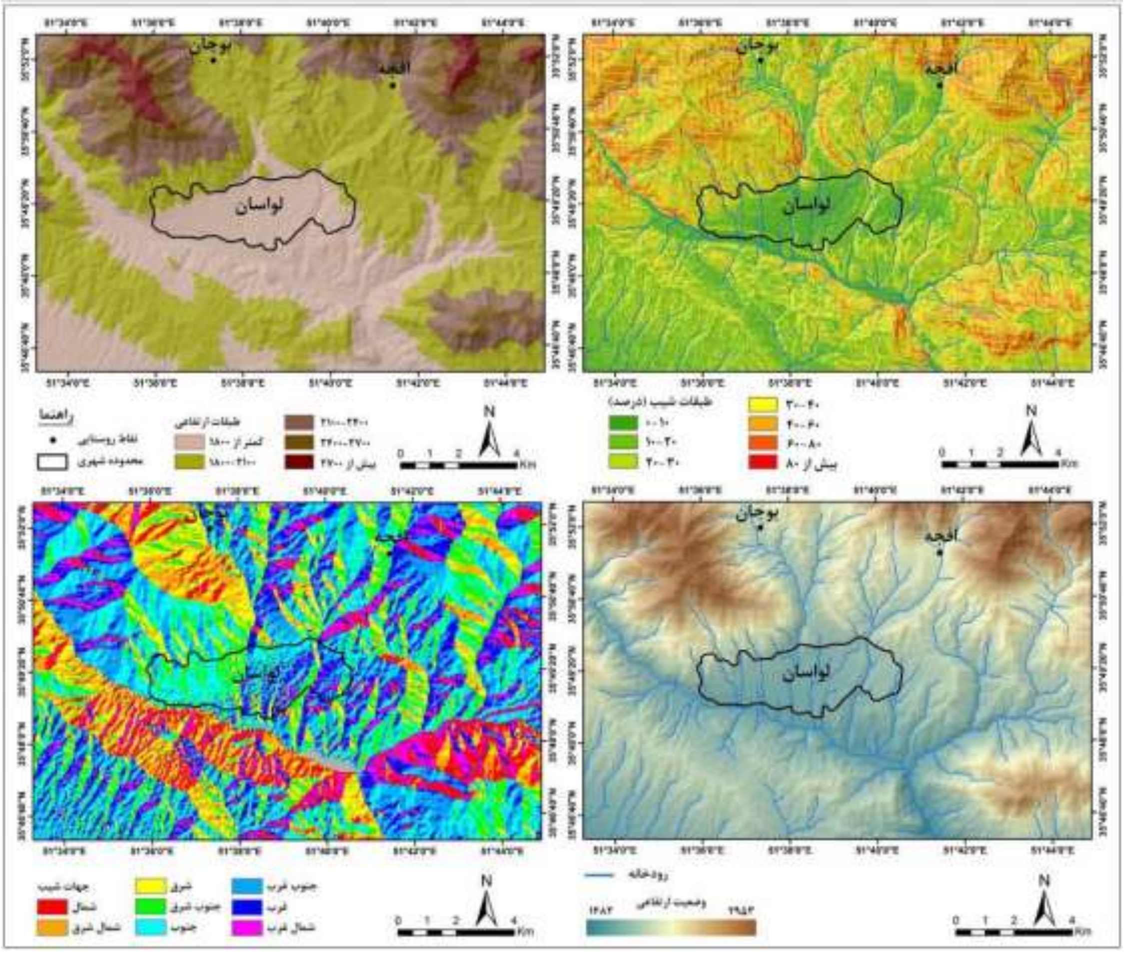
یکی دیگر از اهداف تحقیق حاضر، شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش است. قرارگیری محدوده مطالعاتی در دامنه‌های جنوبی البرز سبب شده تا بخش زیادی از محدوده را واحد کوهستان و دامنه‌های پرشیب در برگیرد. بررسی وضعیت ارتفاعی منطقه بیانگر این است که محدوده مطالعاتی بیم ۱۴۸۲ تا ۲۹۵۳ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که مناطق شمالی دارای بیش‌ترین ارتفاع و مناطق جنوبی محدوده نیز دارای کم‌ترین ارتفاع هستند. همچنین بررسی وضعیت طبقات شیب محدوده نیز بیانگر این است که بخش زیادی از محدوده را طبقات با شیب بالاتر از ۳۰ درصد در برگرفته است و تنها در مناطق منطبق بر محدوده شهری لواسان، میزان شیب کم می‌باشد. با توجه به مواد مذکور، محدوده مطالعاتی به دلیل قرارگیری در یک منطقه کوهستانی، ارتفاع و شیب زیاد. پتانسیل زیادی جهت وقوع زمین‌لغزش دارد. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی، از نظر تکتونیکی فعال است و همچنین در یک منطقه کوهستانی واقع شده است، پتانسیل زیادی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارد، به همین دلیل در این تحقیق با استفاده از ۸ پارامتر، مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش شناسایی شد است که در ادامه به تشریح این پارامترها پرداخته شده است:

۳-۲-۱-پارامترهای مورد استفاده

الف) پارامترهای ژئومورفولوژیکی: پارامترهای ژئومورفولوژیکی مدنظر در تحقیق حاضر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب و رودخانه است که در روند حرکات توده‌ای منطقه موردمطالعه می‌توانند بسیار زیادی داشته باشند. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی دارای اختلاف ارتفاع زیادی است، تفاوت دمایی قابل‌توجهی نیز بین مناطق مرتفع با مناطق کم ارتفاع وجود دارد به همین دلیل ارتفاع به‌طور غیرمستقیم می‌تواند احتمال وقوع لغزش را افزایش دهد. بدین‌صورت که با افزایش ارتفاع به‌ویژه بالاتر از ۲۰۰۰ متر مقدار ریزش برف افزایش یافته و با ذوب شدن آن در فصل بهار، آبراهه‌ها را پر آب و در زیربری دامنه‌های پرشیب در پادگانه‌های شنی نقش مهمی دارد به همین دلیل ارتفاع به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شده است. شیب نیز از عوامل بسیار مهم در وقوع زمین‌لغزش‌ها بوده است که در صورت مهیا بودن سایر شرایط، توده لغزشی در اثر نیروی ثقل به‌طرف پایین دامنه حرکت خواهد کرد (وستن[1]، ۲۰۰۰). همچنین با توجه به اینکه دامنه‌های شمالی انرژی کم‌تری از دامنه‌های جنوبی دریافت می‌کنند، میزان رطوبت در این دامنه‌ها بیشتر از سایر دامنه‌ها است و با توجه به اینکه وجود رطوبت می‌تواند تشدیدکننده لغزش باشد، جهات شیب نیز به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در نظر گرفته شده است. آخرین پارامتر ژئومورفولوژیکی رودخانه است. رودخانه‌ها نقش مهمی در برش پای شیب دارند و مانند جاده‌های ارتباطی در ناپایداری شیب دامنه تأثیرگذار هستند و مناطق نزدیک به آبراهه‌ها داری پتانسیل بالاتری جهت حرکات دامنه‌ای هستند. در شکل ٤ نقشه پارامترهای ژئومورفولوژی نشان داده شده است.

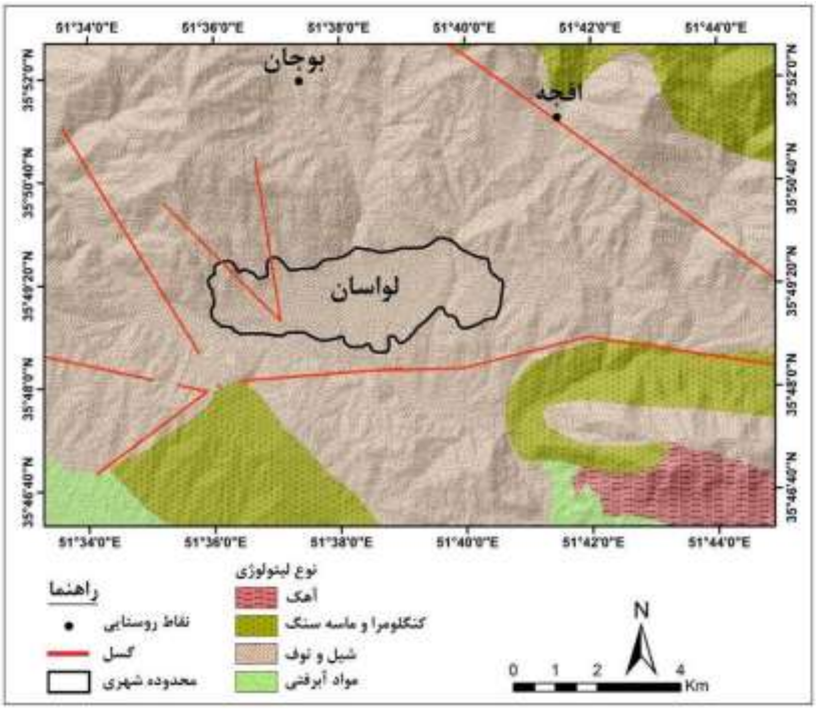
---

1 Westen



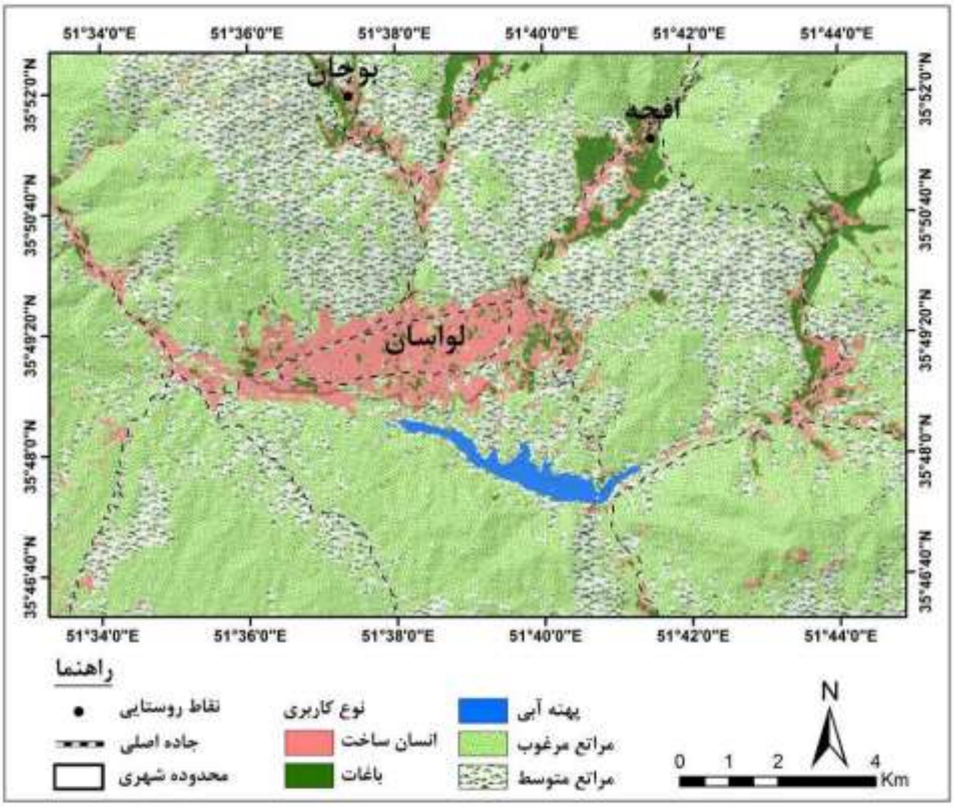
شکل ٤- نقشه پارامترهای ژئومورفولوژی منطقه موردمطالعه

ب) پارامترهای زمین‌شناسی: با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای زمین‌شناسی در لغزش، عامل لیتولوژی نقش مؤثری در پراکندگی حرکات توده‌ای در منطقه دارند. در منطقه موردمطالعه رسوبات آبرفتی و مناطق شیلی، پتانسیل زیادی جهت حرکات دامنه‌ای دارند. همچنین ازآنجایی‌که تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خوردشدگی‌ها نقش بسیار مهمی در ناپایدار دارند و گسل‌ها می‌توانند خوردشدگی را به وجود آورند، مناطق نزدیک به خط گسل پتانسیل بالایی جهت حرکات دامنه‌ای دارند. در شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه نشان داده شده است.



شکل ۵-نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه

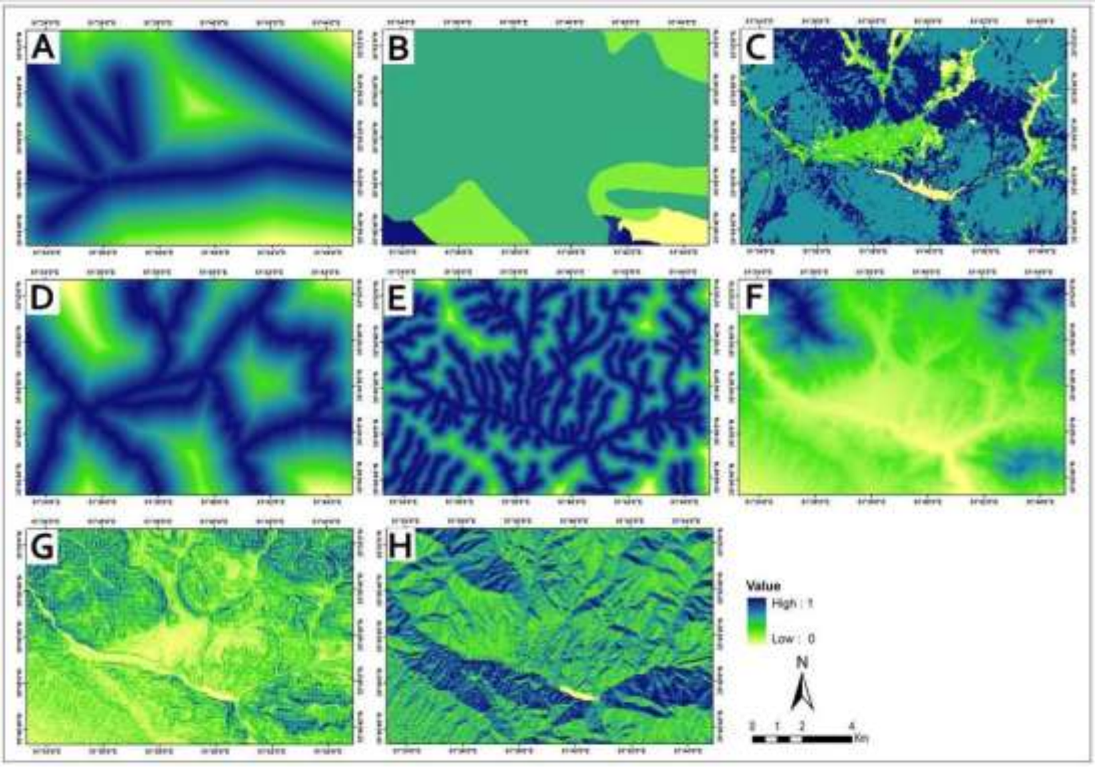
ج) معیار انسانی: با توجه به اینکه محدوده موردمطالعه منطبق بر راه ارتباطی است، راه ارتباطی به‌عنوان یکی از پارامتر در نظر گرفته شده است. راه‌های ارتباطی در ایجاد و توسعه حرکات دامنه‌ای نقش مهمی دارند و حرکات دامنه‌ای یکی از مشکلات و چالش‌های پیش روی فعالیت‌های عمرانی در مناطق کوهستانی است (رجایی، ۱۳۸۲). تأثیر راه‌های ارتباطی به‌خصوص در مناطقی که دارای لیتولوژی سستی هستند بسیار تأثیرگذار است. معیار انسانی دیگر نوع کاربری اراضی است. کاربری اراضی می‌تواند در تشدید و یا کاهش حرکات دامنه‌ای مؤثر باشد. در محدوده مطالعاتی مناطقی که دارای مراتع ضعیف هستند، به دلیل پوشش گیاهی کم‌تر نسبت به سایر مناطق، دارای پتانسیل لغزش‌پذیری بیش‌تری هستند. در شکل ٦ نقشه پارامترهای انسانی نشان داده شده است.



شکل ٦-نقشه پارامترهای زمین‌شناسی

۳-۲-۲-فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، به‌منظور تهیه نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغـزش، ابتـدا لایـه‌هـای اطلاعـاتی فازی‌سازی شده است. به‌منظور فازی‌سازی لایه‌های به مناطق که پتانسیل بالایی جهـت وقـوع زمین‌لغـزش دارد، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطقی که پتانسیل کم‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند، ارزش نزدیک به صفر داده شده اسـت. بـر این اساس، به مناطق نزدیک به جاده، رودخانه و گسـل، منـاطق دارای ارتفـاع و شـیب زیـاد، جهـات شـیب شـمالی، لیتولوژی سست و کاربری دارای پوشش گیاهی کم تراکم، ارزش نزدیک به ۱ داده شده است. همچنین بـه منـاطق دور از جاده، رودخانه و گسل، مناطق دارای ارتفاع و شیب کم، جهات شـیب جنـوبی، لیتولـوژی مقـاوم و کـاربری دارای پوشش گیاهی متراکم، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۷).



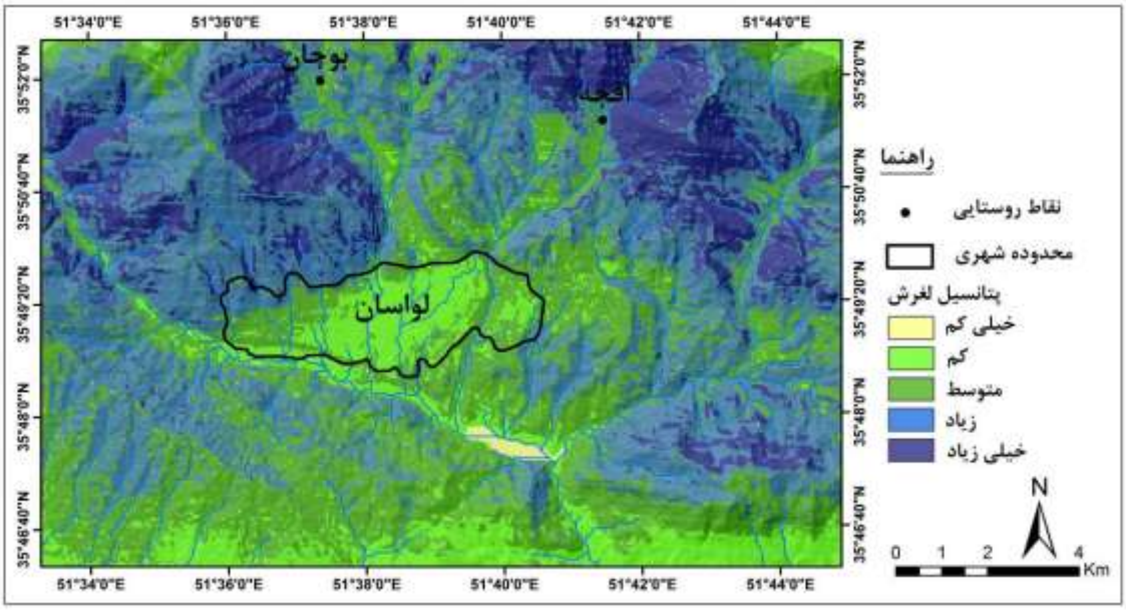
شکل ۷- نقشه فازی‌سازی شده لایه‌های اطلاعاتی A) خطوط گسلی B) لیتولوژی C) کاربری اراضی D) جاده اصلی E) رودخانه F) ارتفاع G) شیب H) جهت شیب

۳-۲-۳- وزن‌دهی و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی

با توجه به اینکه ارزش و اهمیت لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده یکسان نیست، در این تحقیق به‌منظور ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است (جدول ۳). پس از ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی، وزن به دست آمده بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است و درنهایت در محیط ARCGIS، لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از گامای فازی با هم ترکیب شده و نقشه نهایی حاصل شده است (شکل ۸).

جدول ۳- وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل ANP

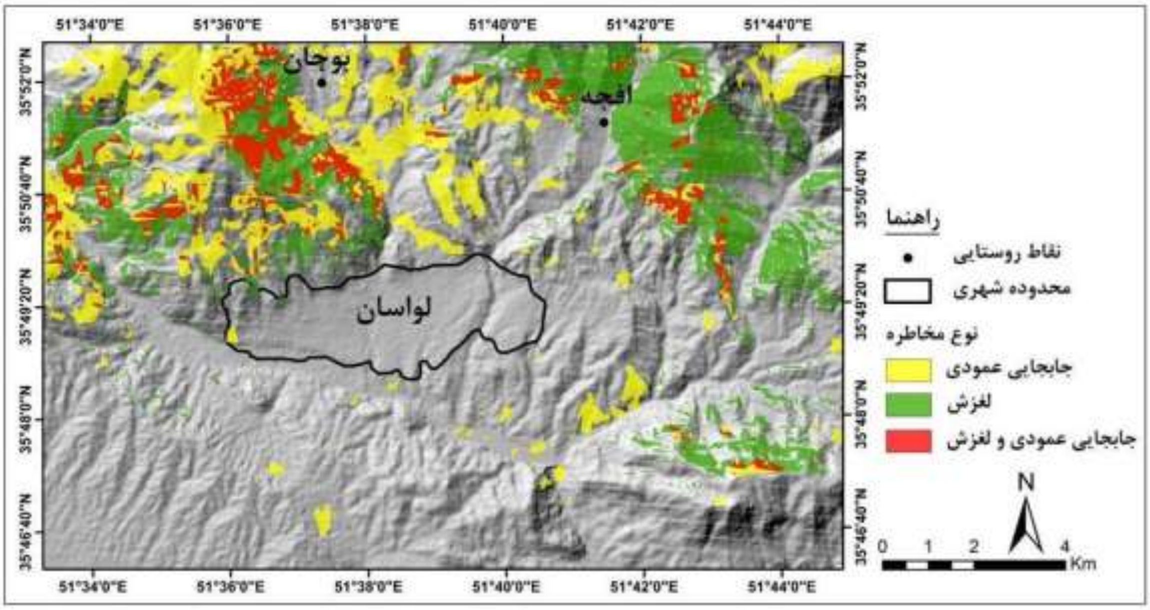
پارامتر	لیتولوژی	فاصله از گسل	فاصله از جاده	کاربری اراضی	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از رودخانه
وزن	۰/۱۱۰	۰/۹٤	۰/۲۰۸	۰/۵۹	۰/۲۳۳	۰/۷۹	۰/۷٦	۰/۱٤۱



شکل ۸- نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی

۳-۳- تحلیل نتایج

بررسی وضعیت میزان جابجایی عمودی منطقه بیانگر این است که نواحی شمال غربی محدوده مطالعاتی دارای بیش‌ترین پتانسیل جابجایی هستند. همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش بیانگر این است که بخش‌های شمالی محدوده به دلیل دارای شرایط لازم، پتانسیل خیلی زیادی جهت وقوع زمین‌لغزش دارند. در این بخش به‌منظور شناسایی نواحی مخاطره‌آمیز، مناطق که دارای جابجایی عمودی بیش از ٤۵ میلی‌متر در طول ۳ سال بوده‌اند و همچنین مناطقی که در طبقه پتانسیل خیلی زیاد جهت وقوع زمین‌لغزش بوده‌اند، جدا شده و به‌عنوان نواحی مخاطره‌آمیز معرفی شده است (شکل ۷). با توجه به اینکه بین مناطقی که دارای میزان جابجایی عمودی بیش از ٤۵ میلی‌متر بوده است و همچنین مناطقی که در طبقه پتانسیل خیلی زیاد جهت وقوع زمین‌لغزش قرار دارند، پوشش مشترک وجود دارد، این مناطق نیز به‌صورت جدا مشخص شده است. با توجه به موارد مذکور، ۳ منطقه مخاطره‌آمیز شامل، مناطق با جابجایی عمودی بیش از ٤۵ میلی‌متر ، مناطق مستعد لغزش و همچنین مناطق مستعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ٤۵ میلی‌متر مشخص شده است. در جدول ٤ مساحت هرکدام از این طبقات نشان داده شده که بر اساس آن، مناطق مستعد لغزش ۳۰/۱ کیلومترمربع، مناطق دارای جابجایی بیش از ٤۵ میلی‌متر ۲٦/۲۷ کیلومترمربع و همچنین مناطق مستعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ٤۵ میلی‌متر ٦/۹۷ کیلومترمربع از محدوده را دربرگرفته است.



شکل ۷- نقشه مناطق مستعد مخاطره در محدوده مطالعاتی

جدول ٤- مساحت طبقات مخاطره‌آمیز (کیلومترمربع)

طبقات	مستعد لغزش	دارای جابجایی بیش از ٤٥ میلی‌متر	مستعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ٤٥ میلی‌متر
مساحت	۳۰/۱	۲٦/۲۷	٦/۹۷

٤- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شناسایی مناطق مخاطره‌آمیز به‌منظور پیش‌گیری از وقوع مخاطره و همچنین برنامه‌ریزی در راستای مقابله با آن بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و همچنین مناطق دارای جابجایی عمودی پرداخته شده است. در مورد مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و همچنین جابجایی عمودی به‌صورت مجزا، تحقیقات مختلفی صورت گرفته است، اما در تحقیق حاضر این دو مخاطره با هم مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در واقع با توجه به اینکه جابجایی عمودی عمدتاً به‌صورت نامحسوس است ولی می‌تواند نقش مهمی در ناپایداری دامنه‌ها داشته باشد. این دو مخاطره با هم مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی از ۲۷ تصویر ماهواره سنتنیل ۱ و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی بیانگر این است که این محدوده در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ ۲۰۱٦/۰۱/۰٦ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱) بین ۱۲/٤+ تا ۱۰۳/۲- میلی‌متر جابجایی داشته است. در واقع در طی این دوره این محدوده با ۱۲/٤ میلی‌متر بالاآمدگی و ۱۰۳/۲ میلی‌متر فرونشست

مواجه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیش‌ترین میزان فرونشست مربوط به نـواحی شـمال غربـی محـدوده مطالعاتی شامل مناطق غربی روستای بوجان بوده است و همچنین کم‌ترین آن نیز مربوط بـه نـواحی جنـوبی محـدوده مطالعاتی بوده است. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی در منطقه کوهستانی قرار دارد و با مسـئله افـت آب زیرزمینـی مواجه نیست و به دلیل قرارگیری این محدوده در دامنه‌های جنوبی البرز، جابجایی صورت گرفته را می‌توان بـه عوامـل تکتونیکی نسبت داد. در این تحقیق همچنـین بـا اسـتفاده مـدل تلفیقـی منطـق فـازی و ANP منـاطق مسـتعد وقـوع زمین‌لغزش نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج حاصل از آن در ۵ کلاس طبقه‌بنـدی شـده اسـت. نتـایج بیـانگر این است که کلاس‌های با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد عمدتاً شامل نواحی شمالی محدوده مطالعاتی است؛ زیـرا کـه ایـن مناطق دارای شیب و ارتفاع زیاد، تراکم آبراهه و خطوط ارتباطی هستند. کلاس با پتانسیل متوسط عمدتاً شـامل منـاطق حاشیه‌ای شهر لواسان و مناطق مجاور رودخانه است که دارای شیب و ارتفاع متوسط هسـتند. کلـاس بـا پتانسـیل کـم عمدتاً شامل مناطق شهری لواسان و مناطق جنوبی محدود مطالعاتی است که این منـاطق دارای شـیب و ارتفـاع کمـی هستند و همچنین کلاس خیلی کم نیز شامل دریاچه سد لتیان می‌شود که به دلیل اینکه از نظر معیارهای مـورد اسـتفاده دارای ارزش کمی است، در این کلاس قرار گرفته شده است. نتایج کلی تحقیق حاضـر بیـانگر ایـن اسـت کـه منـاطق شمالی محدوده مطالعاتی، به دلیل اینکه هم از نظر جابجایی عمودی و هم از نظـر زمین‌لغـزش، دارای پتانسـیل زیـادی است، مستعد وقوع مخاطره است. ارزیابی مناطق مخاطره‌آمیز در محدوده مطالعاتی بیانگر این است کـه منـاطق مسـتعد لغزش ۳۰/۱ کیلومترمربع، مناطق دارای جابجایی بیش از ٤٥ میلی‌متـر ۲٦/۲۷ کیلومترمربـع و همچنـین منـاطق مسـتعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ٤٥ میلی‌متر ٦/۹۷ کیلومترمربع از محدوده را دربرگرفته است.

کتابنامه

بابایی، سیدساسان؛ خزایی، صفا؛ قاصرمبارکه، فروزان؛ ۱۳۹٦. پردازش سری زمانی تداخل سنجی تصاویر راداری COSMO-SkyMed به‌منظور محاسبه نرخ فرونشست در محدوده سازه‌های زمینی و زیرزمینی در شهر تهران. *نشریه علوم و فنون نقشه برداری*. دوره ۷. شماره ۱. صص ٦۷-٥٥

بابایی، سیدساسان؛ موسوی، زهرا؛ روستایی، مه‌آسا؛ ۱۳۹٥. آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش‌های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش کننده‌های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین. *نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*. دوره ٥. شماره ٤. صص ۱۱۱-۹٥

بهاروند، سیامک؛ سارویی، حمزه؛ سوری، سلمان؛ ۱۳۹٦. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (مطالعه موردی: حوضه ده سفید لرستان). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. سال ۱۰. شماره ۳٥. صص ۸٦-۷٥

پورطاهری، مهدی؛ حمدالله، سبحانی قیداری؛ صادقلو، طاهره؛ ۱۳۹۰. ارزیابی تطبیقی روش‌های رتبه‌بندی مخاطرات محیطی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: استان زنجان). *فصلنامه پژوهش‌های روستایی*. سال ۲. شماره ۳. صص ٥٤-۳۱

حسین‌آبادی، مهدی؛ موسوی، سیدمرتضی؛ ناظمی، محمد؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به روش منطق فازی در رشته‌کوه باقران (جنوب بیرجند). *فصلنامه جغرافیا و توسعه*. دوره ۱۷. شماره ۵۵. صص ۱۷۴-۱۵۳

رجایی، عبدالحمید؛ ۱۳۸۲. کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط. چاپ دوم. تهران: نشر قومس.

رنجبر، محسن؛ بیات، سارا؛ ۱۳۸۹. بررسی مخاطرات طبیعی شهرستان خمین با تاکید بر زلزله و مدیریت بحران. *فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس*. سال ۲. شماره ٤. صص ٤۹-۳۷

صالحی متعهد، فهیمه: حافظی مقدس، ناصر؛ لشکری پور، غلامرضا؛ دهقانی، مریم؛ ۱۳۹۸. ارزیابی فرونشست زمین به کمک تلفیق روش تداخل سنجی راداری و اندازه‌گیری‌های میدانی و مطالعه دلایل و اثرات آن بر شهر مشهد. *نشریه زمین‌شناسی مهندسی*. سال ۱۳. شماره ۳

صفاری، امیر؛ جعفری، فرهاد؛ ۱۳۹۵. سنجش مقدار و پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری (مطالعه موردی: دشت کرج –شهریار). *فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران*. سال ٤. شماره ٤۸. صص ۱۸۸-۱۷۵

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۳. مبانی فلسفی مخاطرات محیطی. *فصلنامه تحلیل مخاطرات فضایی*. سال ۱. شماره ۱. صص ۱۵-۱

ملکی، امجد؛ دهساری، مهین؛ رضائی، پیمان؛ ۱۳۹٤. تنگناهای ژئومورفولوژیک توسعه کالبدی شهر جوانرود با استفاده از مدل منطق فازی. *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دانشگاه تربیت مدرس*. دوره ۱۹. شماره ٤. صص ۱۵۹-۱۸۳

یمانی، مجتبی؛ پیرانی، پریسا؛ مرادی پور، فاطمه؛ شعبانی عراقی، عارفه؛ گورابی، ابوالقاسم؛ ۱۳۹۳. ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل حرکات دامنه‌ای تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. دوره ۱۸. شماره ۳. صص ۱۷۰-۱٤۷

Abir, I. A., Khan, S.D., Ghulam, A., Tariq, S., Shah, M.T., 2015. Active tectonics of western Potwar Plateau–Salt Range, northern Pakistan from InSAR observations and seismic imaging. Remote Sensing of Environment, 168: 265-275.

Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kralˇovany–Liptovsky´ Mikulaš Railway Case Study, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 35, PP.162-171.

Bronfman, N. C., Cisternas, P. C., Repetto, P .B. Castañeda, J. V., 2019. Natural disaster preparedness in a multi-hazard environment: Characterizing the sociodemographic profile of those better (worse) prepared, PLoS One, v.14(4); PMC6481794

Cigna, F., Novellino, A., Colm, J., Sowter, A., 2014. Intermittent SBAS (ISBAS) InSAR with COSMO-SkyMed X-band high resolution SAR data for landslide inventory mapping in Piana degli Albanesi (Italy). In: SPIE Proceedings: SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques XIV (2014), Amsterdam, Netherlands, 22 Sep.

Hanssen, R. F., 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

Wang W., Zhang W., Xia Q., 2012. Landslide Risk Zoning Based on Contribution Rate Weight Stack Method, International Conference on Future Energy, Environment, and Materials

Westen, J., Seijmonsbergen, A .C., Mantovani, F., 2000. Comparing Landslid Hazard Maps. Kluwer Academic Publishers. 26 pp

Yalcin, A., 2008. GIS based landslide susceptibility maping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen(Turkey), Comparisons of result and confirmation Catena, 72: 1- 12.

Zhao, Q., Ma. G., Wang. Q., Yang. T., Liu, M., Gao, W., Falabella, F., Mastro, P., Pepe, A., 2019. Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 154, August 2019, Pages 10-27